

Sustainability Circle Impulstalk

02.03.2022

Bio-Werkstoffe
in a Nutshell



Bio-Werkstoffe

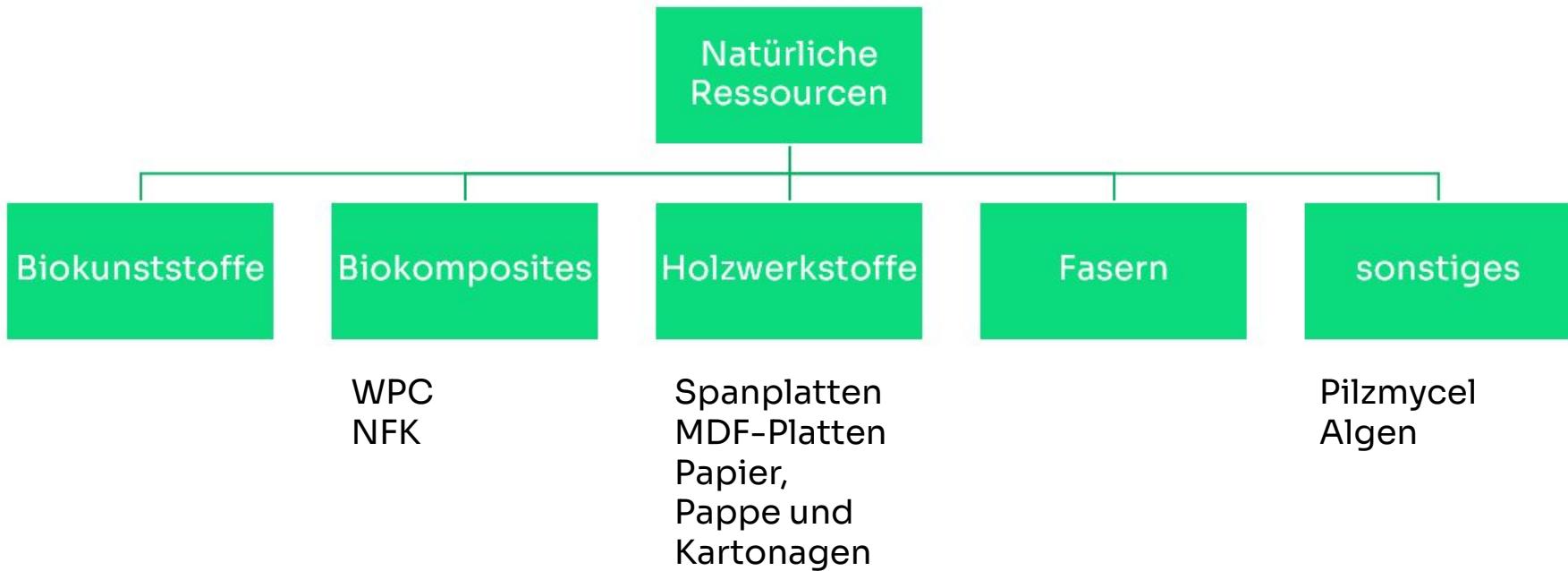


Bio-Werkstoffe für die industrielle Nutzung

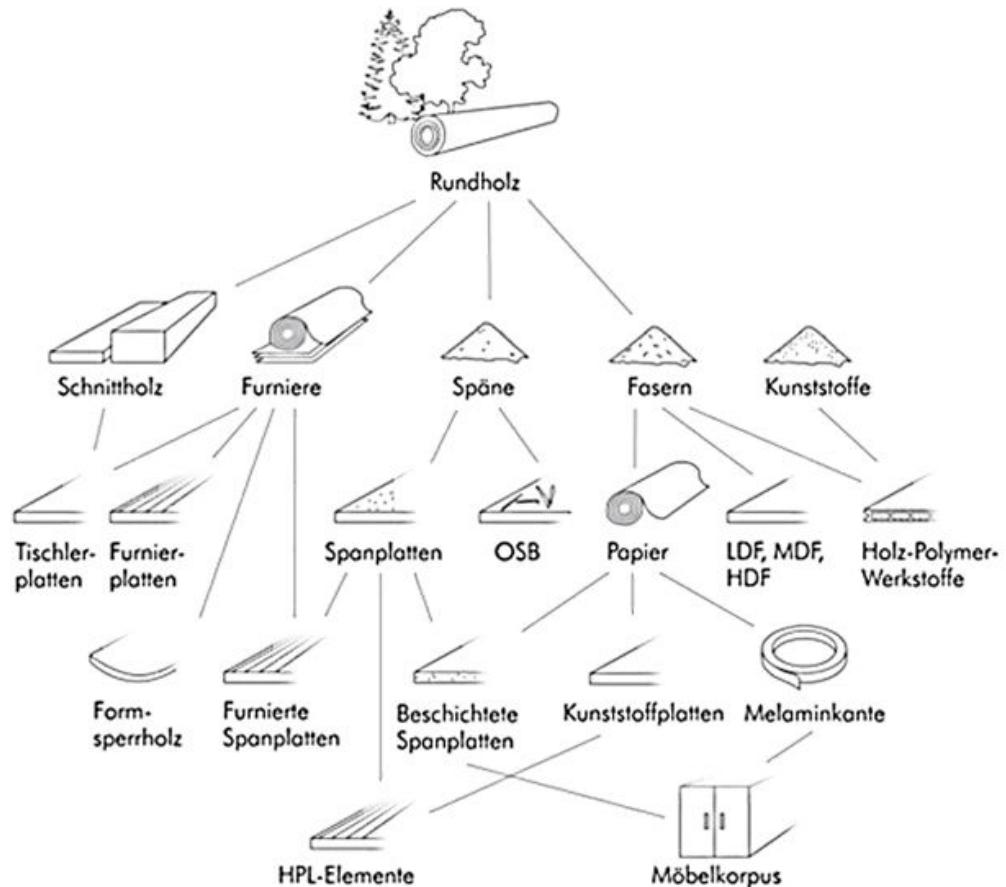


Biowerkstoffe:

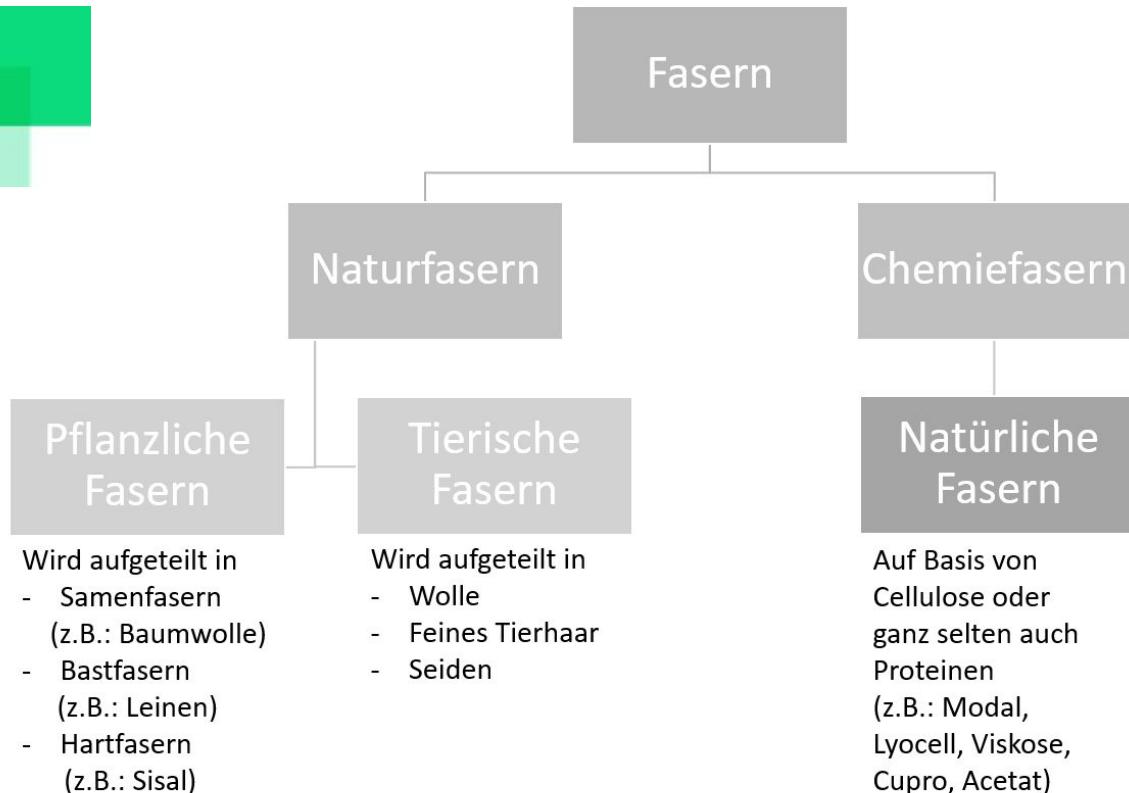
Werkstoffe vollständig oder auch teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen.



Bio-Werkstoff - Holz



Bio-Werkstoff – Fasern



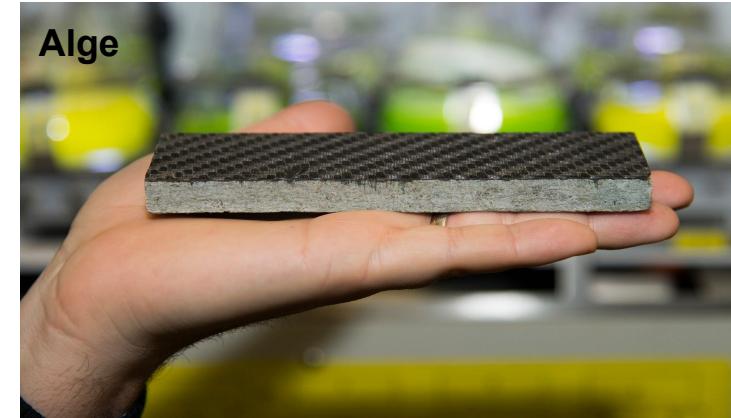
Bio-Werkstoffe – sonstige



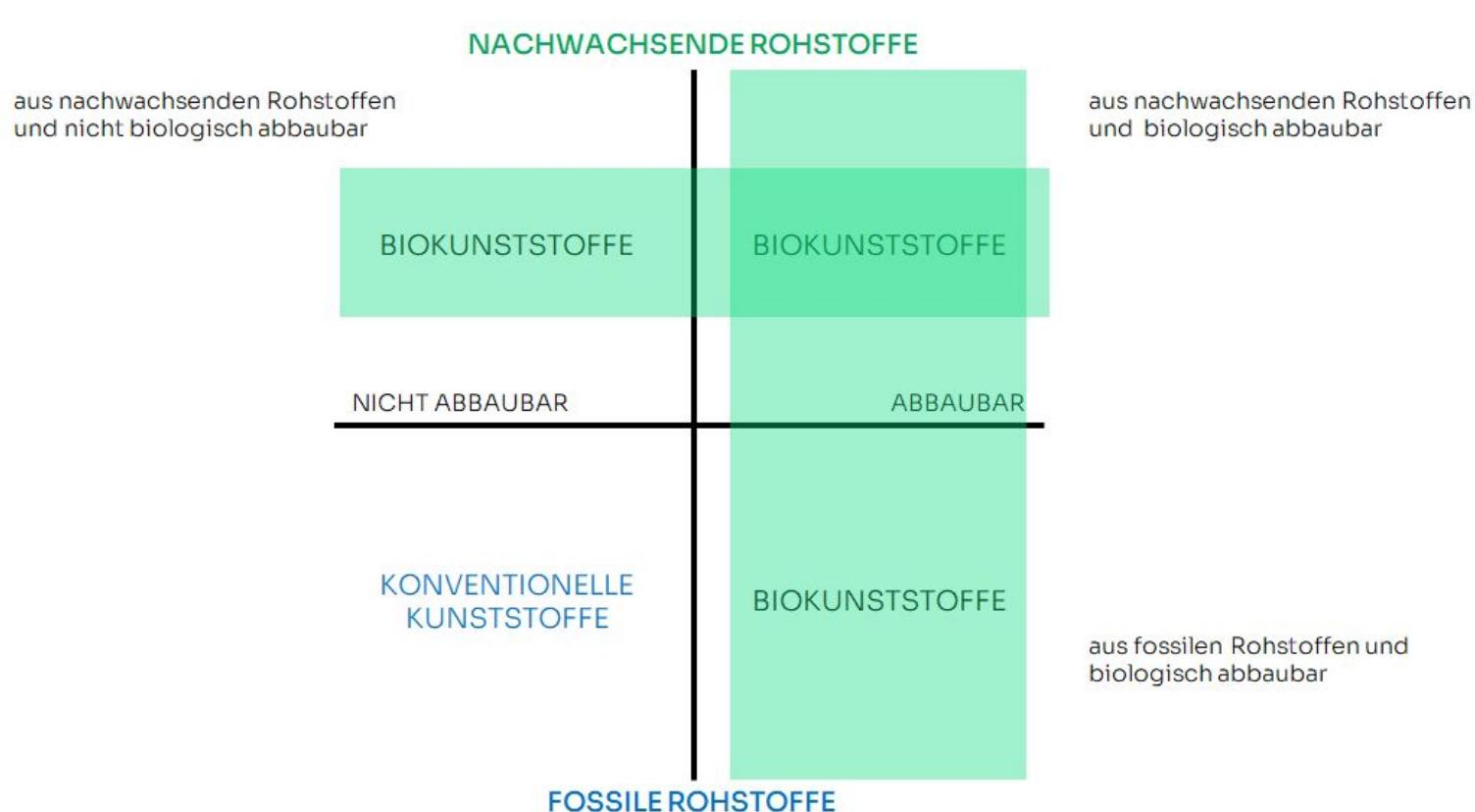
Pilzmycel



Alge



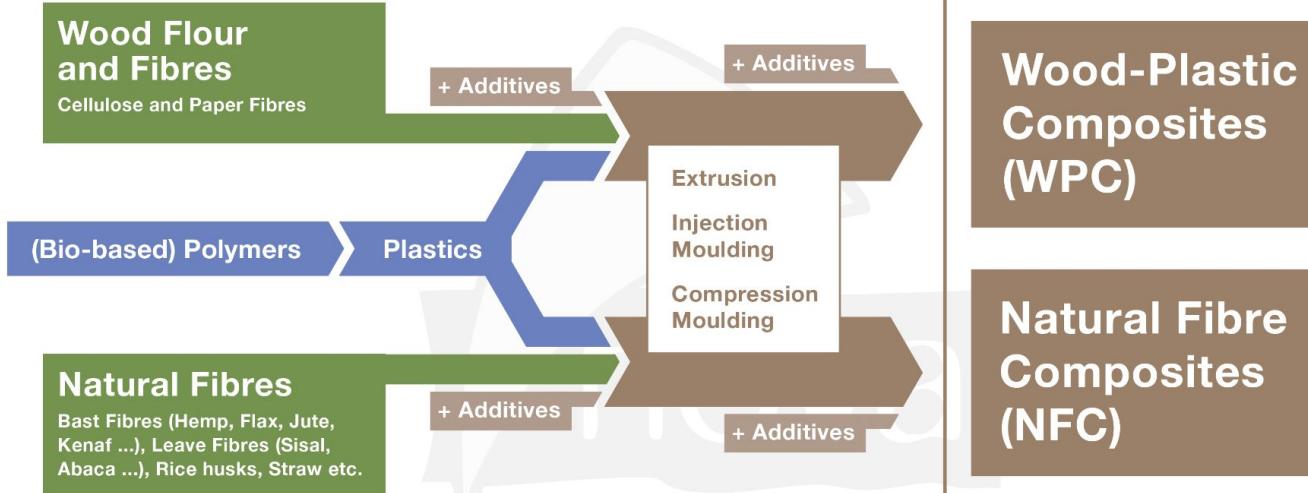
Bio-Werkstoff – Biokunststoffe!



Bio-Werkstoffe als Biokompositen!



BIOCOMPOSITES



Bio-Werkstoffe an Ihrem Produkt?



Biowerkstoffe für die industrielle Nutzung



Gehäuse u.Ä. - harte Kunststoffe

PLA mit Schlagzäh-Additiven? Nukleierung zur Erhöhung der HDT?
TPS zum Drücken des Preises?
UV-Stabilisierung durch Kaffeepulver aus Kaffeesatz?

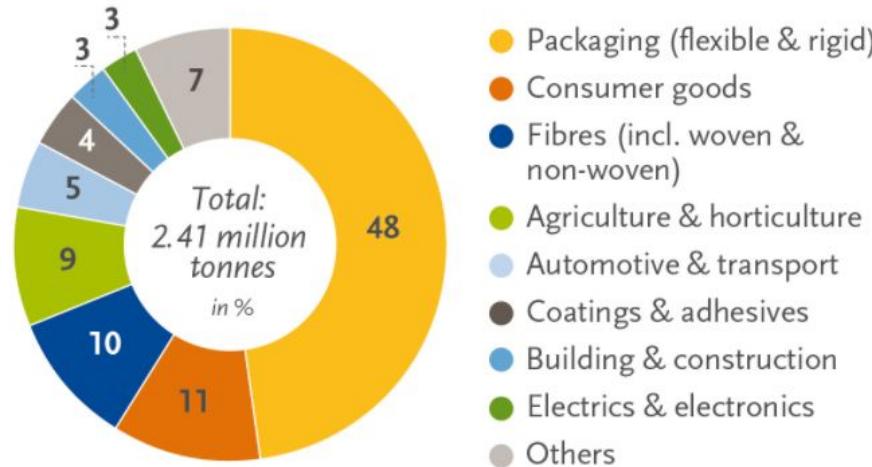
Flexible Verpackungen und Schutzprodukte

PBS oder PBAT als PE Alternative?
Weichgemachtes PLA?
Natürliche Haftklebstoffe aus Harzen?
Geschäumte Biokunststoffe?



Biowerkstoffe – aktuell

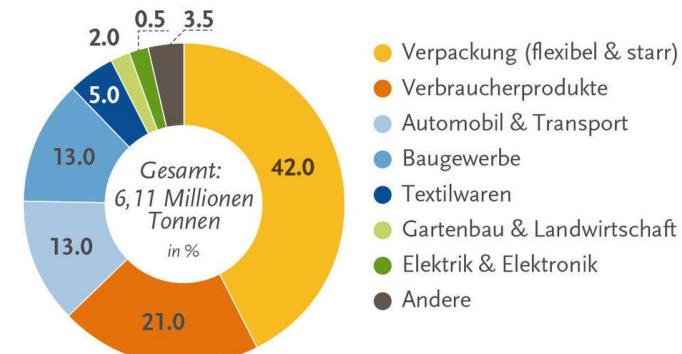
Global production capacities of bioplastics in 2021 (by market segment)



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Vorhersage: 2016

Weltweite Produktionskapazitäten für Biokunststoffe 2021 (nach Marktsegment)

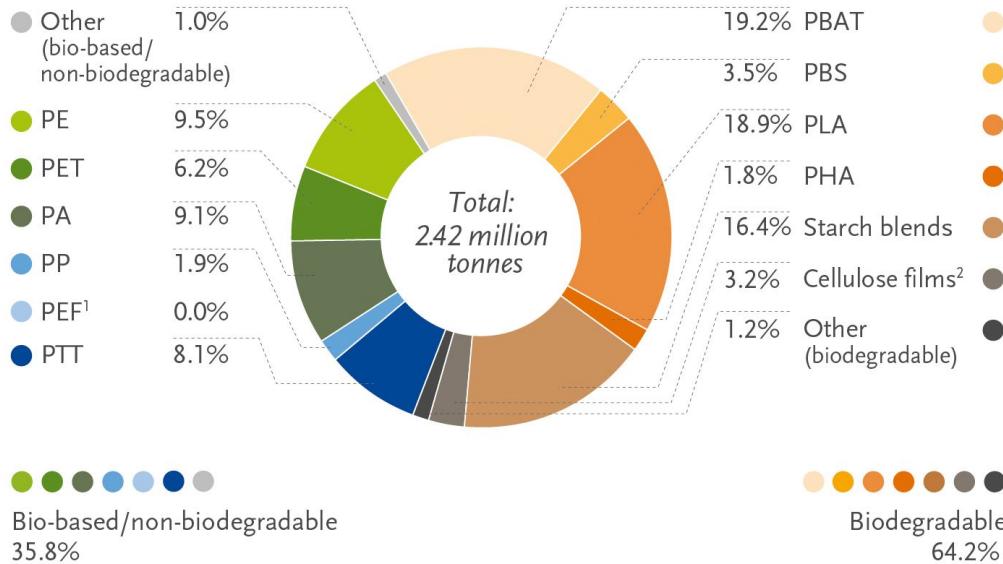


Quelle: European Bioplastics, nova-Institut (2016). Mehr Informationen: www.bio-based.eu/markets und www.european-bioplastics.org/market

Biowerkstoffe – aktuell



Global production capacities of bioplastics 2021 (by material type)



¹PEF is currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023. ²Regenerated cellulose films

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Knowledge-Base: Bio-Werkstoffe als Substitution für konventionelle Werkstoffe



Knowledge-Base: Bio-Werkstoffe als Substitution für konventionelle Werkstoffe

verfügbare & sinnvolle Werkstoffe

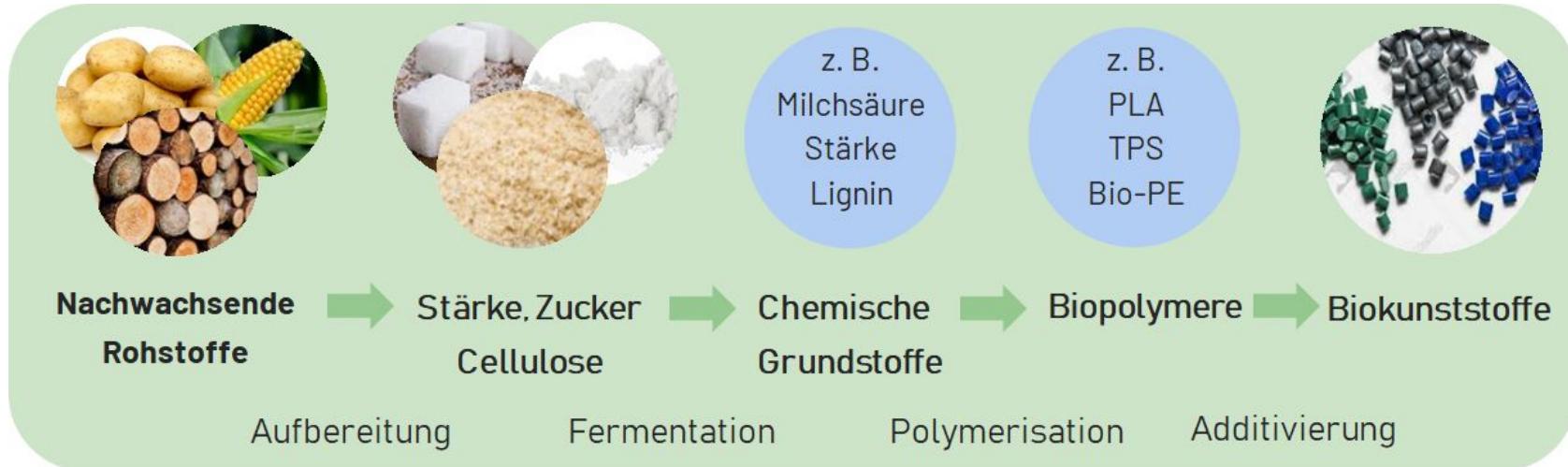
Herkunft und Gewinnung, Verarbeitung, Eigenschaften, End-of-Life
Beispiele

PLA, PBAT, PBS, Stärke & Stärkecompounds ← Viele Infos

Cellulosederivate, Drop-Ins ← eher knappe Infos

Compounds, Lignin ← viele Infos denkbar

Bio-Kunststoffe



Biokunststoff = Biopolymer + Bioadditive

Bio-Kunststoffe



Flächen- und Wasserverbrauch

Biokunststoff	Sugar cane	Sugar beet	Corn	Potato	Wheat
PLA	0.16 ha 2 370 m ³	0.18 ha 1 215 m ³	0.37 ha 2 921 m ³	0.44 ha 2 659 m ³	1.04 ha 6 468 m ³
PHB	0.30 ha 4 610 m ³	0.31 ha 2 364 m ³	0.69 ha 5 655 m ³	0.81 ha 5 168 m ³	1.88 ha 12 867 m ³
Bio-PE	0.46 ha 7 031 m ³	0.47 ha 3 605 m ³	1.06 ha 8 642 m ³	1.24 ha 7 899 m ³	2.88 ha 19 663 m ³
Bio-PET	0.30 ha 4 547 m ³	0.31 ha 2 331 m ³	0.68 ha 5 604 m ³	0.80 ha 5 122 m ³	1.86 ha 12 751 m ³
TPS			0.16 ha 1 309 m ³	0.19 ha 1 197 m ³	0.44 ha 2 979 m ³



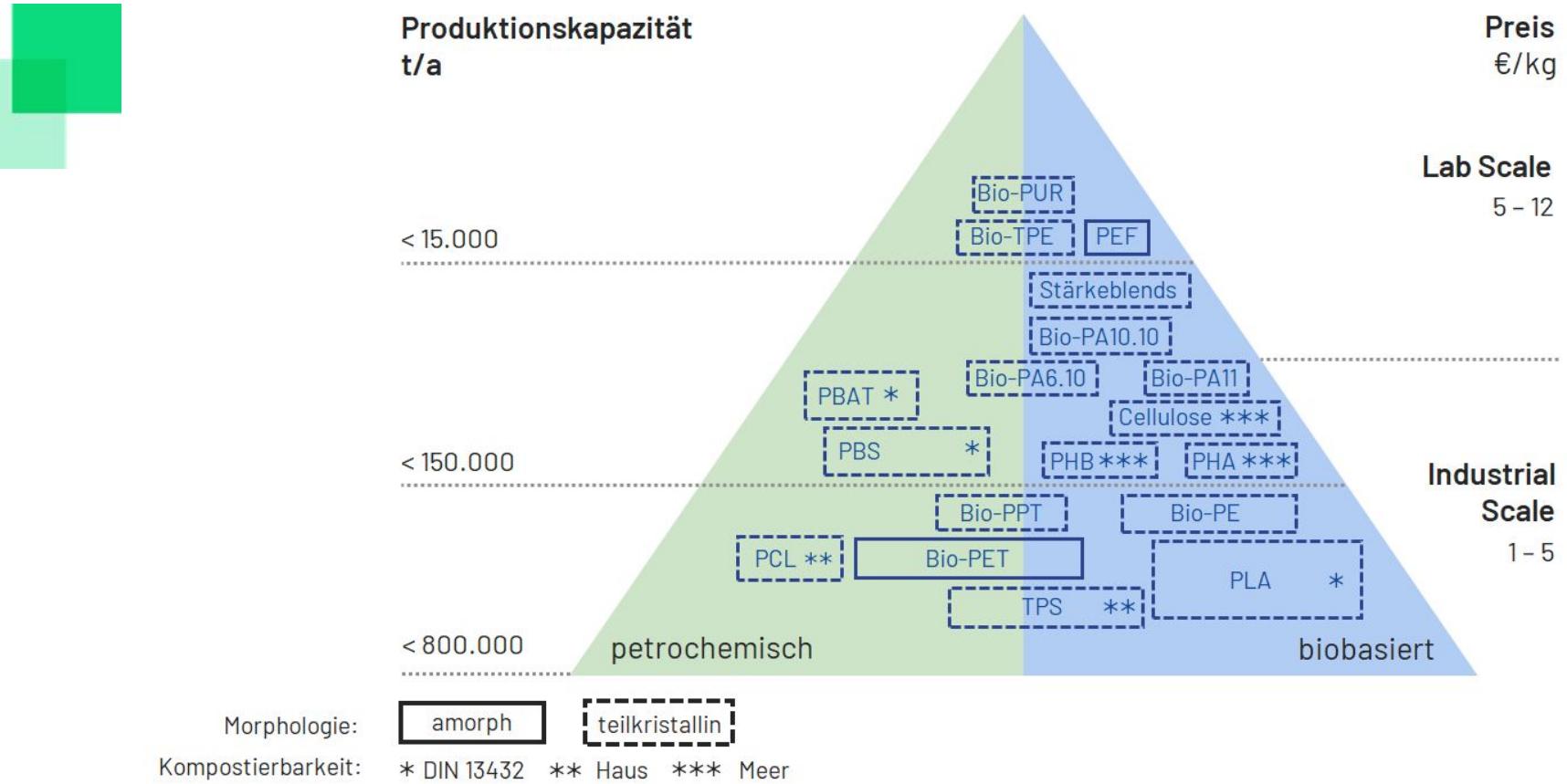
land use for 1t of resulting polymer

water usage for feedstock/crop amount

Quelle: ifBB Biopolymers, facts and statistics 2018, modifiziert

→ Nachhaltigkeit ist von den Rohstoffpflanzen abhängig
→ LCA zur umfänglichen Bewertung!

Bio-Kunststoffe

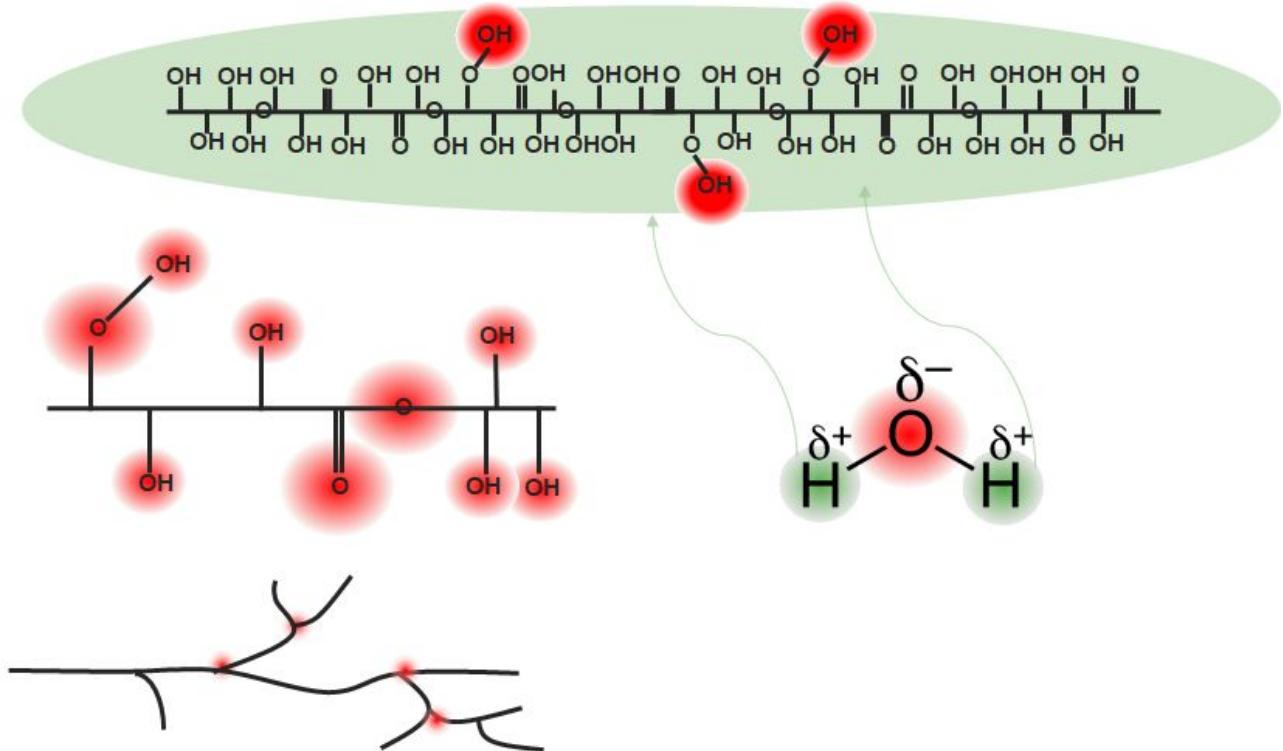


Bio-Kunststoffe

BRUNNEN

Biokunststoffe:

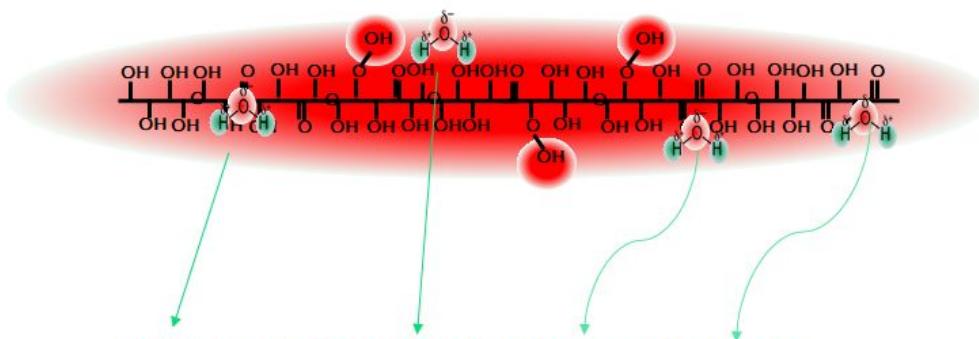
Konventionelle
Kunststoffe:



Bio-Kunststoffe



Anpassung der Prozesse für Verarbeitung von Biokunststoffen: VORTROCKNUNG



Vortrocknung für alle Biokunststoffe empfehlenswert!
Für die meisten absolute Pflicht!

Ohne Vortrocknung:

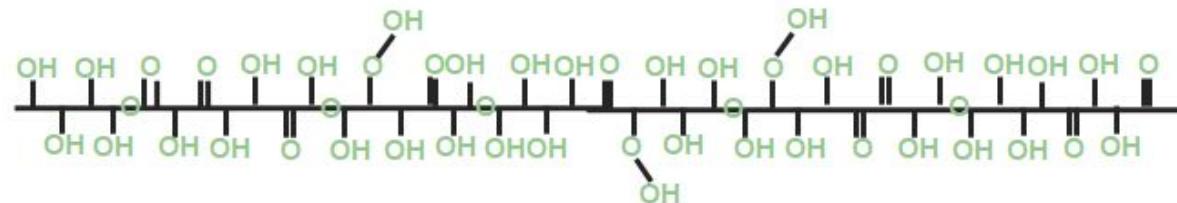
- Beförderung des Kettenabbaus durch Hydrolyse
- Erzeugung von Vakuolen/Gasblasen
- Prozessabbrüche durch freiwerdendes Gas

	Zeit [h]	Temp [°C]	Verarbeitung ab [%]
ALLGEMEIN	2 – 6	60 – 100	ab < 0,1
CA	2 – 4	60	< 0,15
PLA	6	80	-
Bio-PA	4 – 6	80	< 0,05
PHBV	2	100	< 0,025

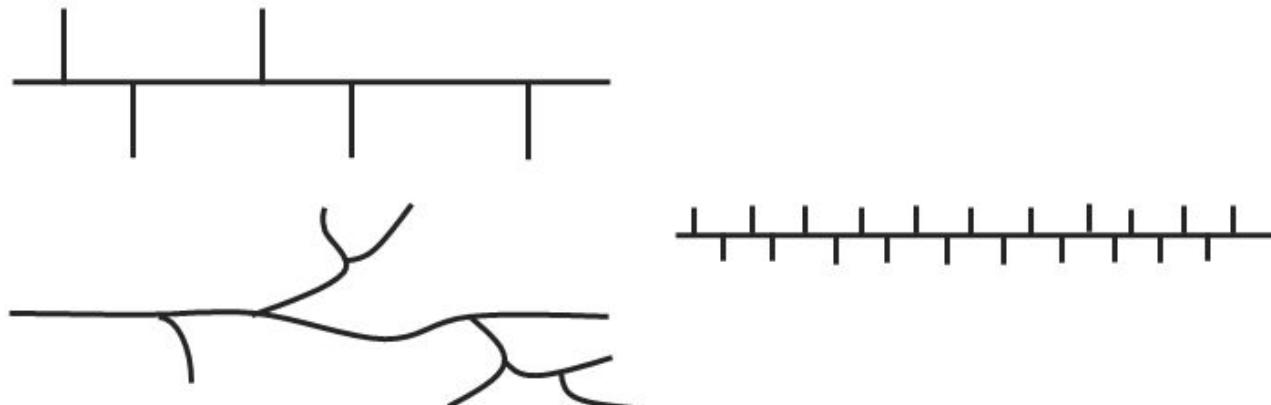
Bio-Kunststoffe



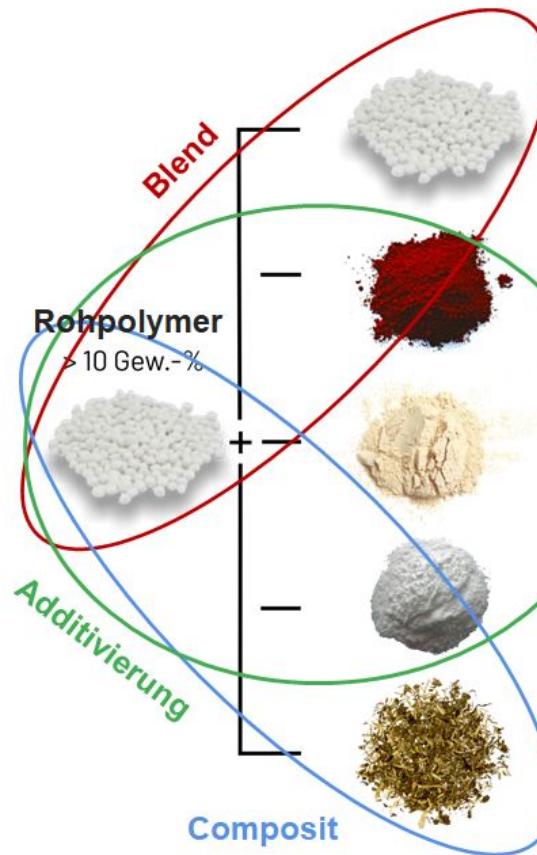
Biokunststoffe:



Konventionelle
Kunststoffe:



Bio-Kunststoffe



Polymer

5 - 50 Gew.-%

- Blend (kompatibel)
- Blend (teilkompatibel)
- Blend (unkompatibel)

Pigmente

5 - 50 Gew.-%

- organisch
- anorganisch
- Effektpigmente
- UV-Stabi (HALS)
- Antioxidantien
- Flammenhemmer
- Antistatika
- Nukleierungsmittel

Stabilisatoren

1 - 20 Gew.-%

- mineralisch
- Glaskugeln
- Verstärker
- Samenfasern
- Bastfasern
- Hartfasern

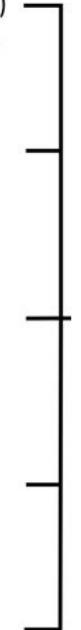
Füllstoffe

20 - 90 Gew.-%

Fasern

5 - 50 Gew.-%

Klemens Kohlgrüber: Der gleichläufige Doppelschneckenextruder, Hanser, 2. Auflage



Bio-Kunststoffe

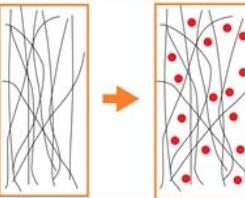


WEICHMACHER

Innere Weichmacher



Äußere Weichmacher



- PEG, PPG, PCL
- Glycerol, Sorbitol
- Citrate
- Öle (Sojabohnenöl, Cardanol)

VERSTÄRKUNGSSTOFFE

Bio-Verbundwerkstoffe

Kurzfasern < 4 mm



Langfasern > 4 mm



- Holzmahlgut
- Hanfmahlgut
- Flachsmahlgut
- PLA- und Viskosefasern

- Gelege und Gewebe
- Hanffaser
- Flachsfasern
- PLA- und Viskosefaser

Nanofüllstoffe

- Schichtsilikate
- Cellulosewhisker
- Nanowhisker
- CNTs

PROZESSHILFSSTOFFE

VINNEX – Wacker Chemie AG

Kompatibilisierer

Biostrength® - Arkema
Schlagzähmodifizierung
Schmelzefestigkeit

Makromelt – Henkel
Haftvermittler Faser, Füllstoff

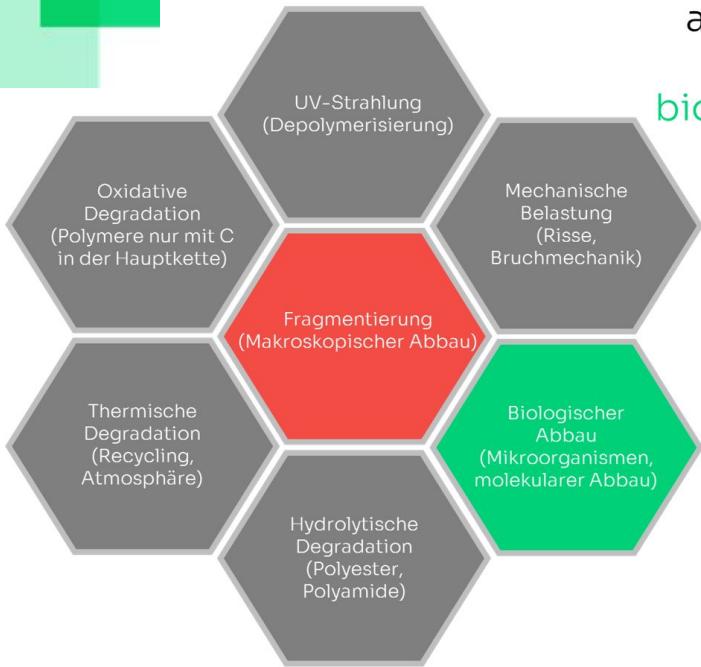
FARBSTOFFE

Masterbatch
Flüssigfarbstoffe
Pulver

SCHUTZADDITIVE

Lignin, Apfelwurzel, Trauben- oder
Rosmarinextrakt
UV-Stabilisator

Bio-Kunststoffe



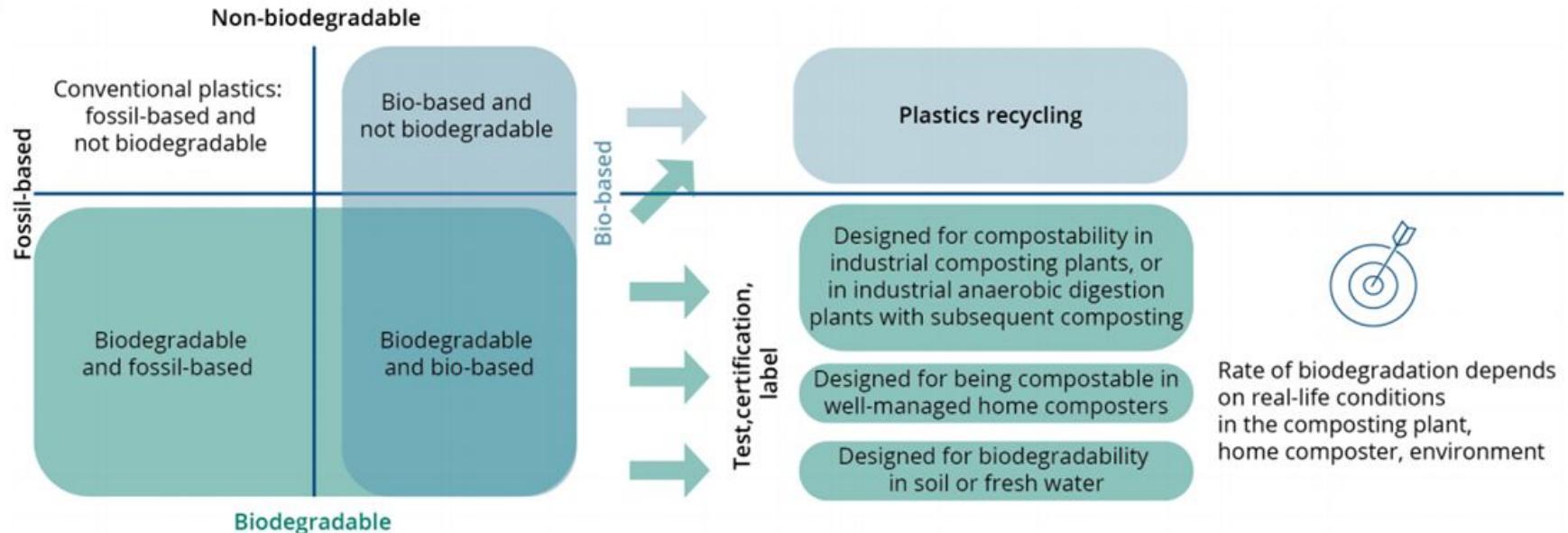
abbaubar
≠
bioabbaubar

Biokunststoff ≠ kurzlebig

bioabbaubar ≠ kompostierbar



Bio-Kunststoffe



Bio-Kunststoffe



Europäische
Norm EN 13432



Heim-Kompostierung



Bioabbaubarkeit
im Boden



Amerikanischer
Standard ASTM 6400



Europäische Norm EN 13432
Australischer Standard
AS 4736



Italienische
Zertifizierung CIC



Japanische Norm
GreenPla



Kanadischer Standard
CAN/BNQ 0017-088

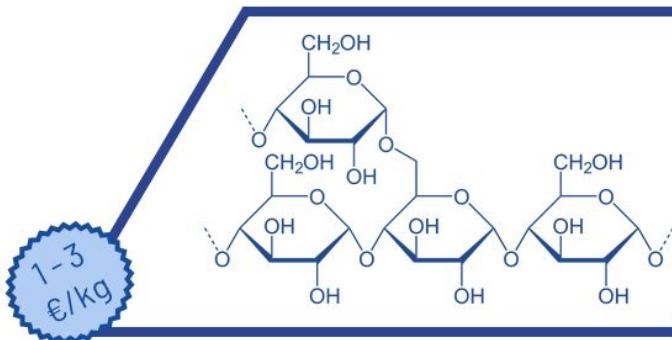
Bio-Kunststoffe



- **Cellulosederivate CA, CN, CB, CP, CAB, CAP u.w.**
bio-basierter Rohstoff: Cellulose
bio-basierter Anteil vom Acetylierungsgrad (DS) und
vom verwendeten Weichmacher abhängig
- **Thermoplastische Stärke TPS**
bio-basierter Rohstoff: Stärke
bio-basierter Anteil vom verwendeten
Weichmacher abhängig



Thermoplastische Stärke (TPS)



1-3
€/kg

$T_g: -20 - 43^\circ\text{C}$ // $T_m: 130 - 180^\circ\text{C}$ // $\rho: 1,5 \text{ g/cm}^3$

- Verarbeitung nur mit Weichmachern möglich
- mech. Eigenschaften sehr stark abhängig vom Weichmacher
- polar (stark hydrophil)
- kompostierbar nach DIN EN 13432 + Lebensmittelzulassung

Rohstoff

Destrukturierung von pflanzlichen Stärkekörnern

Verarbeitung

Vortrocknung nötig! Verkleisterung bei Hitze! Spitzguss + Castfolie + Blasfolie -

Substituent für

Füll- oder Verstärkungsstoffe

Blends

PBAT/TPS, TPS/Bio-PE, PLA/TPS

- schlecht bis mäßig
++ gut bis sehr gut



Technische-Biokunststoffe

- **PLA (Polymilchsäure)** bio-basierter Rohstoff: L-, D- und Meso-Lactid
- **PHB (Polyhydroxybutyrat)** bio-basierte Rohstoffe: Fermentativ aus Stärke, Zucker u.w.
- **PBS (Polybutylensuccinat)** bio-basierter Rohstoff: Bernsteinsäure
- **PBAT (Polybutylenadipat-terephthalat)** fosil-basierte Rohstoffe: Terephthalsäure, Adipinsäure, 1-4 Butandiol
- **PCL (Poly- ϵ -caprolacton)** fosil-basierter Rohstoff: Caprolacton
- **PVOH (Polyvinylalkohole)** fosil-basierter Rohstoff: Vinylacetat
- **PEF (Polyethylenfuranoat)** bio-basierter Rohstoff: 2,5-Furandicarbonsäure und Ethylenglycol

Polylactid Acid (PLA)



Rohstoff

L- oder D-Milchsäure (Fermentation) → L- oder D-Lactid

Verarbeitung

Vortrocknung | kurze Verweilzeit | siegelbar | Spitzguss + Castfolie + Blasfolie -

Substituent für

PS

Trübung beim Recycling

$4 - 7 \text{ €/kg}$

Blends

Ecovio®, Bio-Flex®, TPS, PCL, Vinnex (Weichmacher)

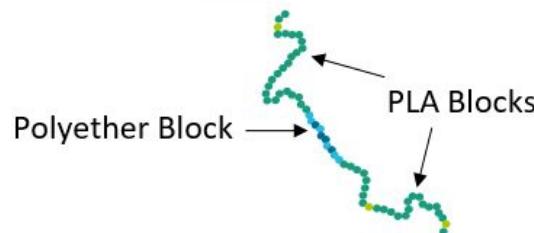
- schlecht bis mäßig
++ gut bis sehr gut

Bio-Kunststoffe

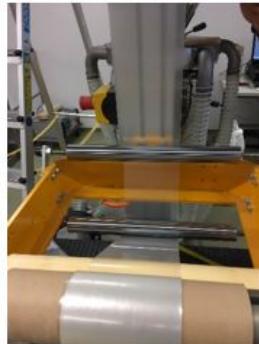


Internally plasticized PLA

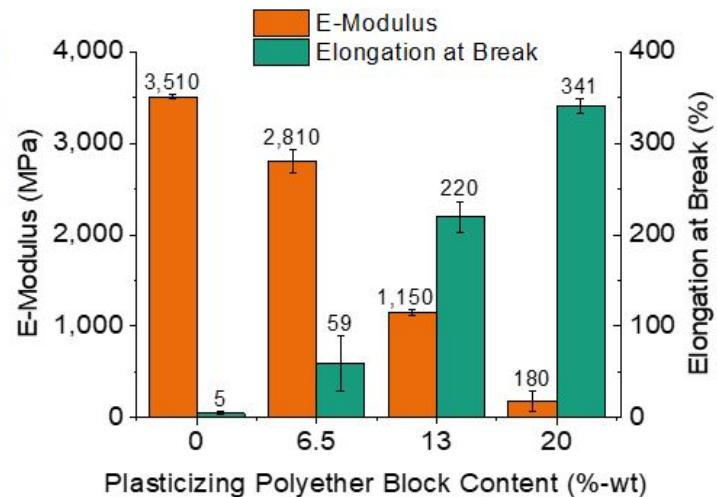
as a more sustainable substitute for
LDPE flexible blown film



- ✓ 1-pot, bulk synthesis
- ✓ High biobased content (80-95 %-wt PLA)
- ✓ Good processability (MFI¹ = 2-30 g/10min)
- ✓ Good & stable mechanical properties for blown film applications (covalently bonded plasticizer)



Mechanical Properties²



¹ T=160 °C, 2.16 kg

² Injection molded DIN EN ISO 527-2 type 5A samples

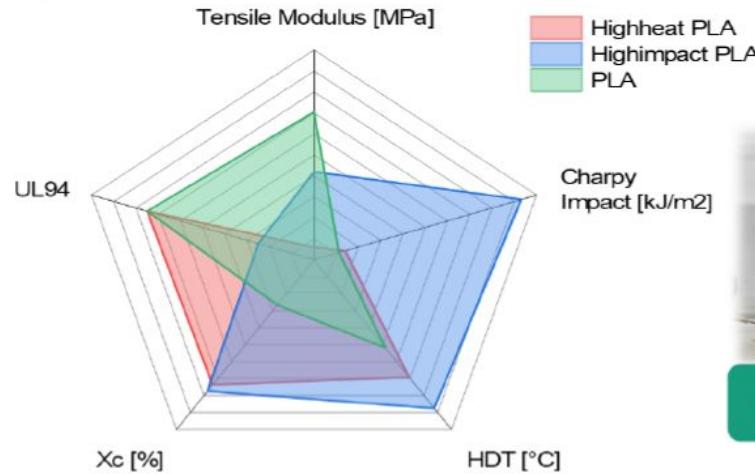
Bio-Kunststoffe



PLA with modified properties:



Flame-Retardent

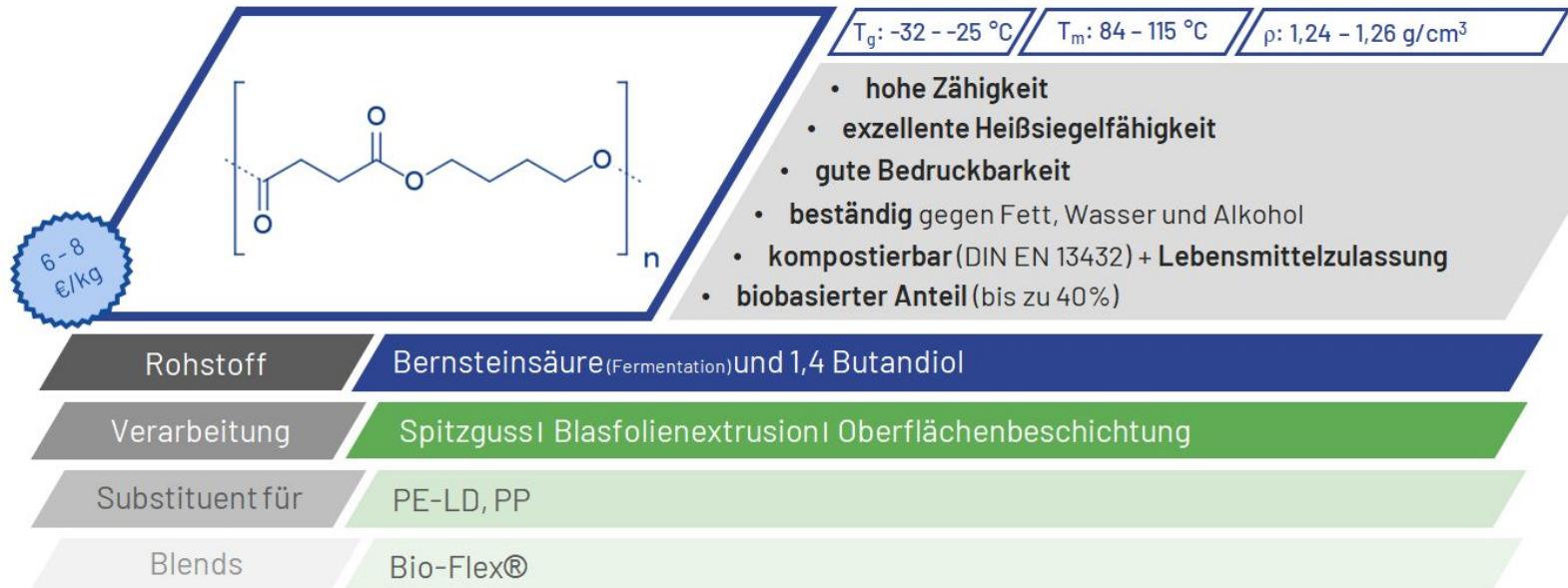


Impact-Resistance



Heat-Resistance

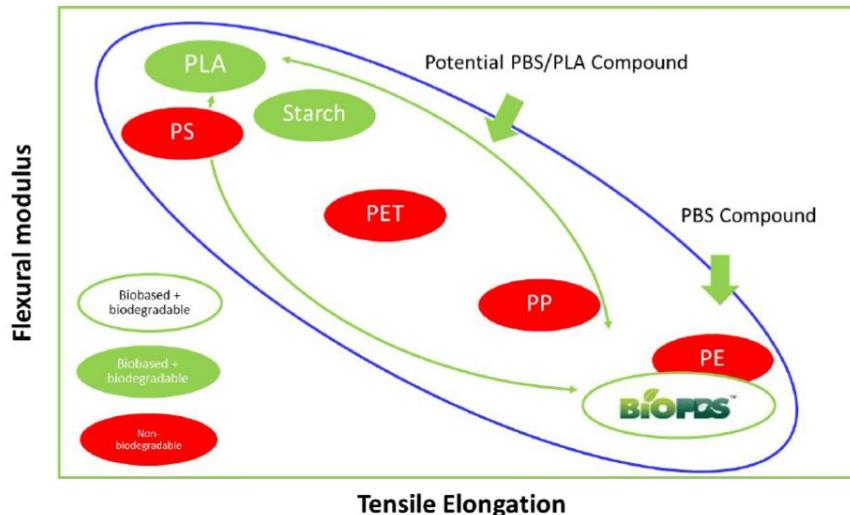
Polybutylensuccinat (PBS)



Bio-Kunststoffe



Importance of Biopolymers – BioPBS™



BioPBS™

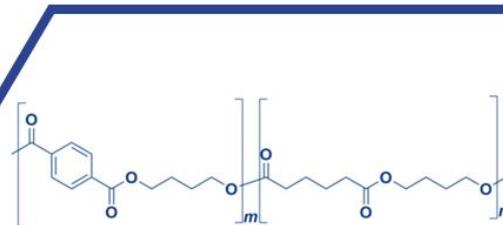
PLA

Flexible	Flexibility
Higher	Impact strength
Faster	Biodegradability*
High	Heat resistance
Lower	Process temp
Lower	Heat-seal temp.
Translucent	Transparency
Rigid	
Lower	
Slower	
Lower	
Higher	
Higher	
Transparent	

* in soil at 30°C (86°F), 50%RH

Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT)

4,5 - 6,5
€/kg



$T_g: -33^\circ\text{C}$ // $T_m: 100 - 120^\circ\text{C}$ // $\rho: 1,22 - 1,26 \text{ g/cm}^3$

- sehr zäh und flexibel
- hohe Bruchdehnung
- leichte Verarbeitbarkeit
- beständig gegen Fett, Wasser und Alkohol
- hohe Transparenz (random Copolymer)
- kompostierbar nach DIN EN 13432 und ASTM D6400

Rohstoff

Polyaddition von Terephthalsäure mit Adipinsäure und 1,4-Butandiol

Verarbeitung

Blasfolienextrusion | Oberflächenbeschichtung

Substituent für

PE-LD

Blends

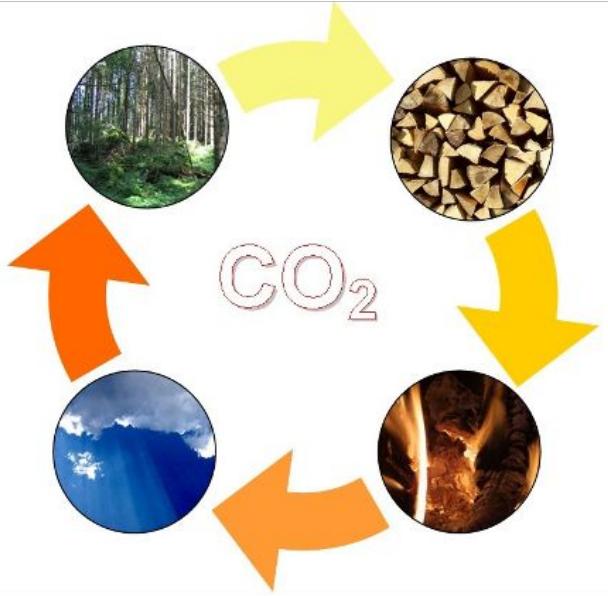
Ecovio®, Ecowill®

Sustainability durch Bio-Werkstoffe?

Vorstellung von Ansätzen zur Bewertung der Nachhaltigkeit,
Methoden, Aspekte die zu Nachhaltigkeit führen und umgekehrt

Biokunststoffe sind...

- CO₂ neutral



- Wie neutral ist CO₂ neutral?

Biokunststoffe sind...

- Nachwachsend
- 100% green made, erdölfrei
- Kompostierbar, abbaubar



 BioApply



Biokunststoffe

Vom Anbau bis zur Entsorgung...



Aus Baumwolle und Holz:
z.B. Celluloseacetat

Aus stärkehaltigen Pflanzen:
z.B. PLA, Stärkeblends

Aus zuckerhaltigen Pfl.:
z.B. Bio-PE, Bio-PET

Biokunststoffe

Vom Anbau bis zur Entsorgung...



Biokunststoffe

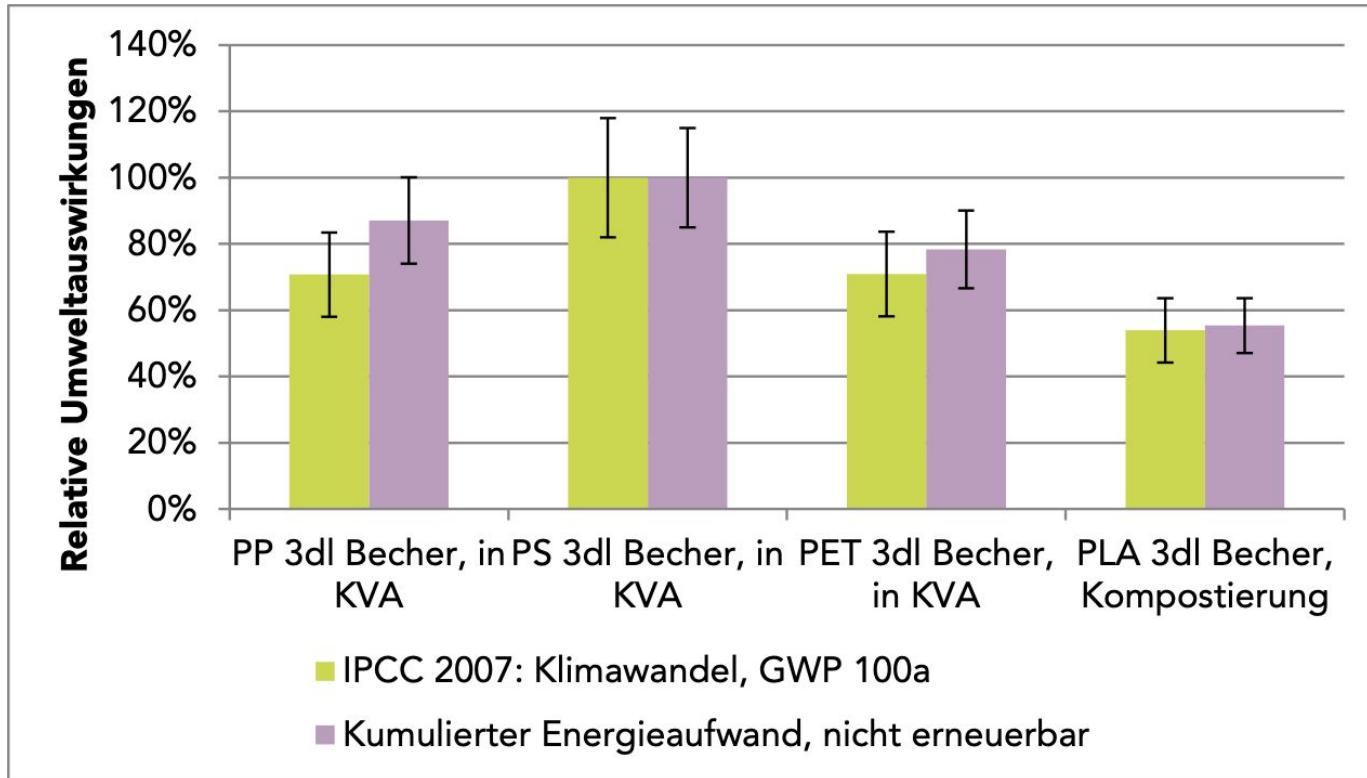
Vom Anbau bis zur Entsorgung...

Der **landwirtschaftliche Anbau** wie auch die Herstellung der Kunststoffe benötigt Energie und Hilfsstoffe, wie Dünger, Pflanzenbehandlungsmittel, Maschineneinsatz oder Transporte. Diese benötigen im Allgemeinen **fossile Ressourcen**. Daher sind sie per se nicht vollständig CO₂ neutral oder vollständig nachwachsend.

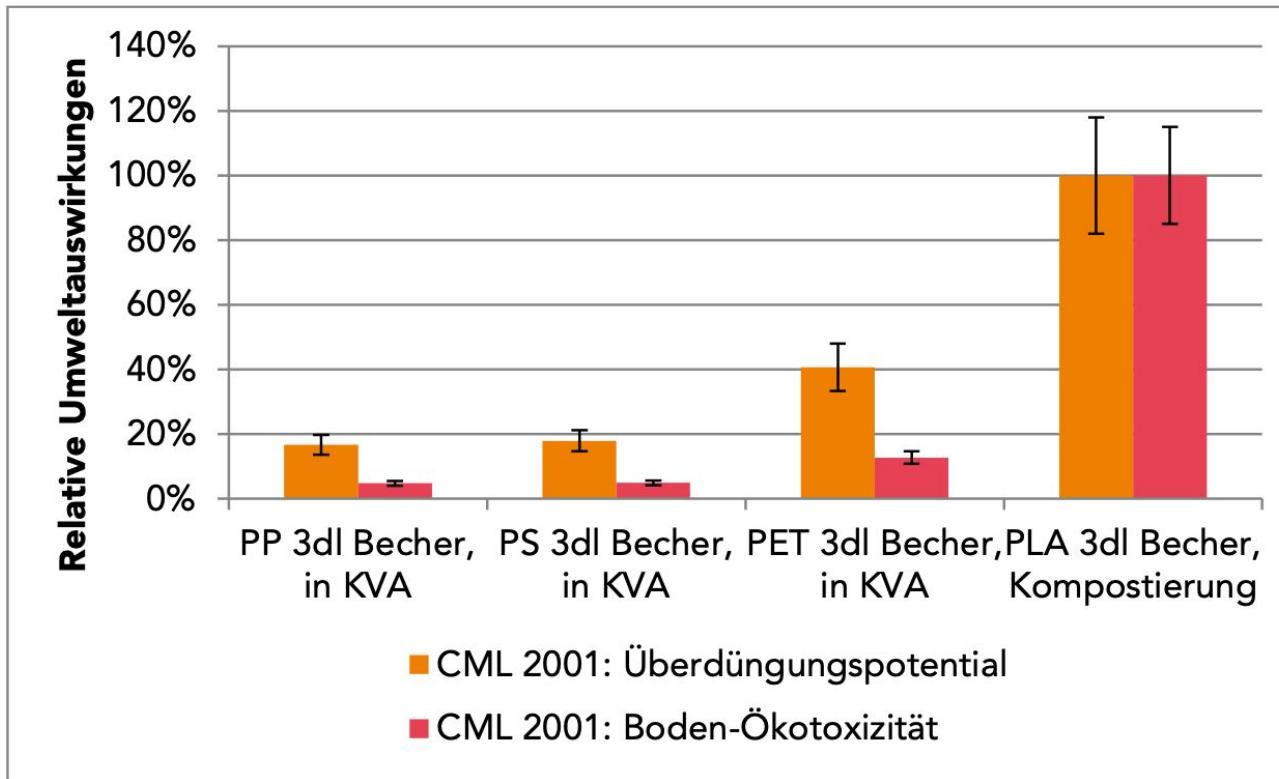
Es stellen sich somit Fragen wie z.B.:

- Wie hoch ist die Reduktion der CO₂ Emissionen?
- Wie viel fossile Ressourcen werden benötigt?

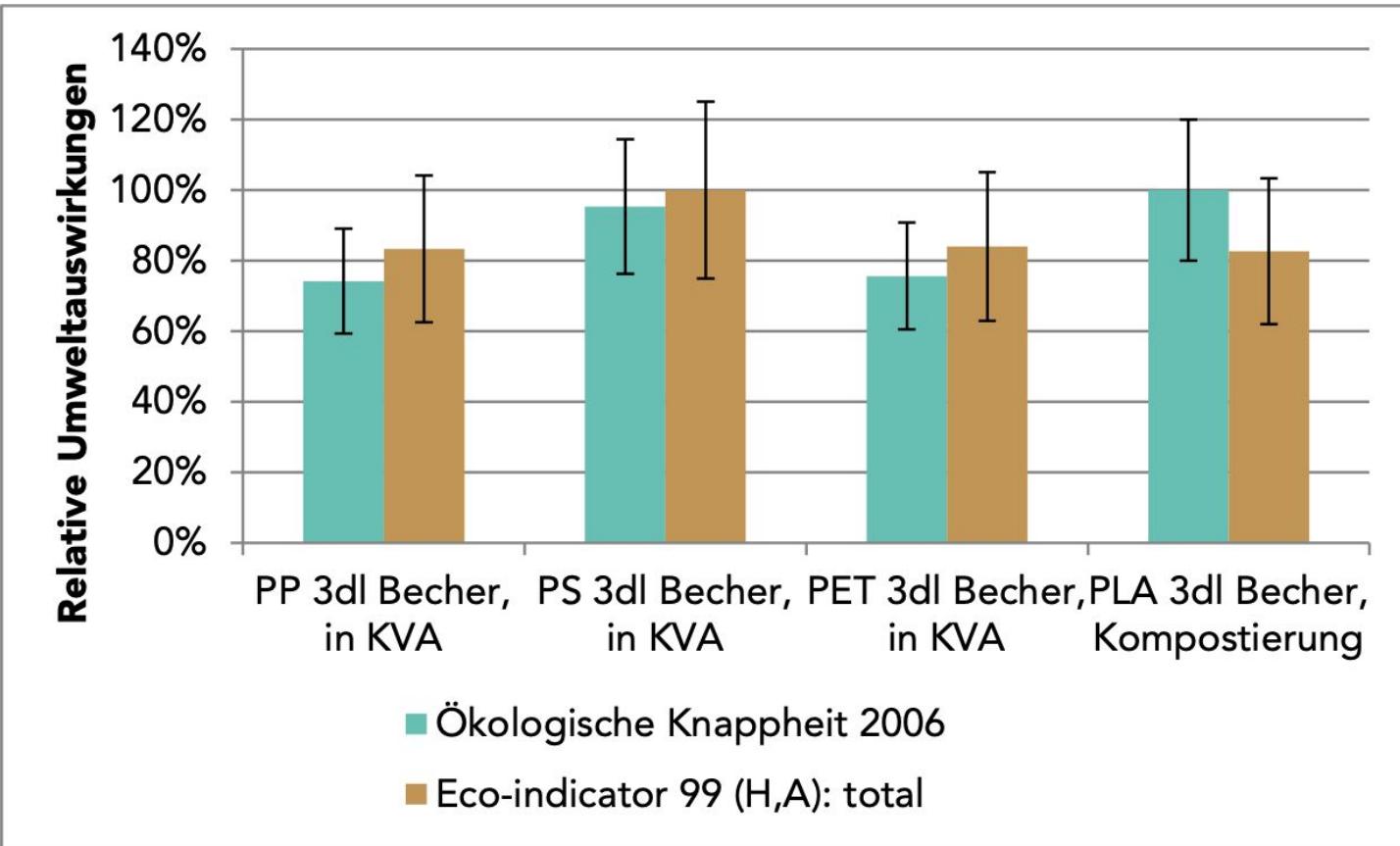
Um diese Fragen zu beantworten, ist die Betrachtung des **gesamten Lebensweges** notwendig.



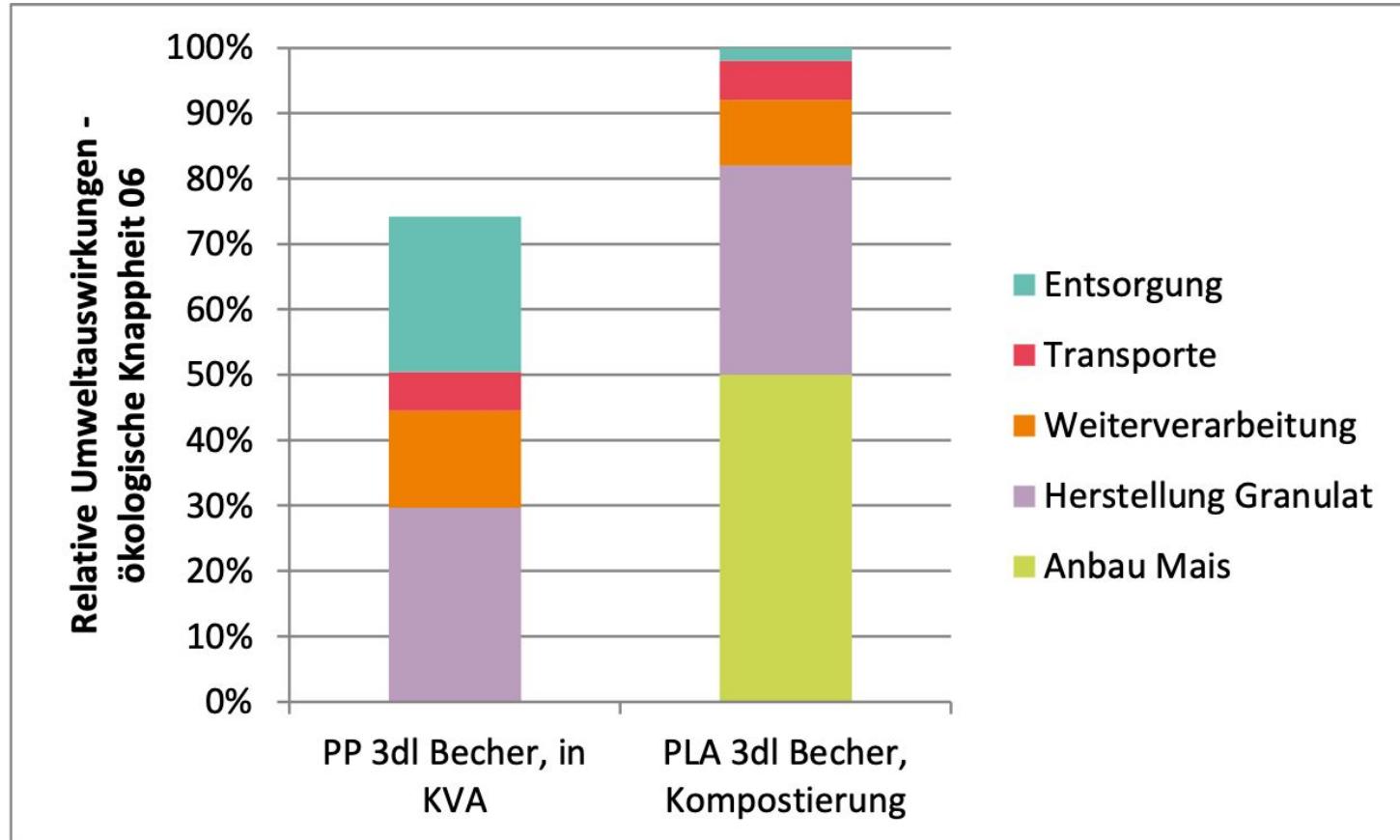
Überdüngung und Versauerung



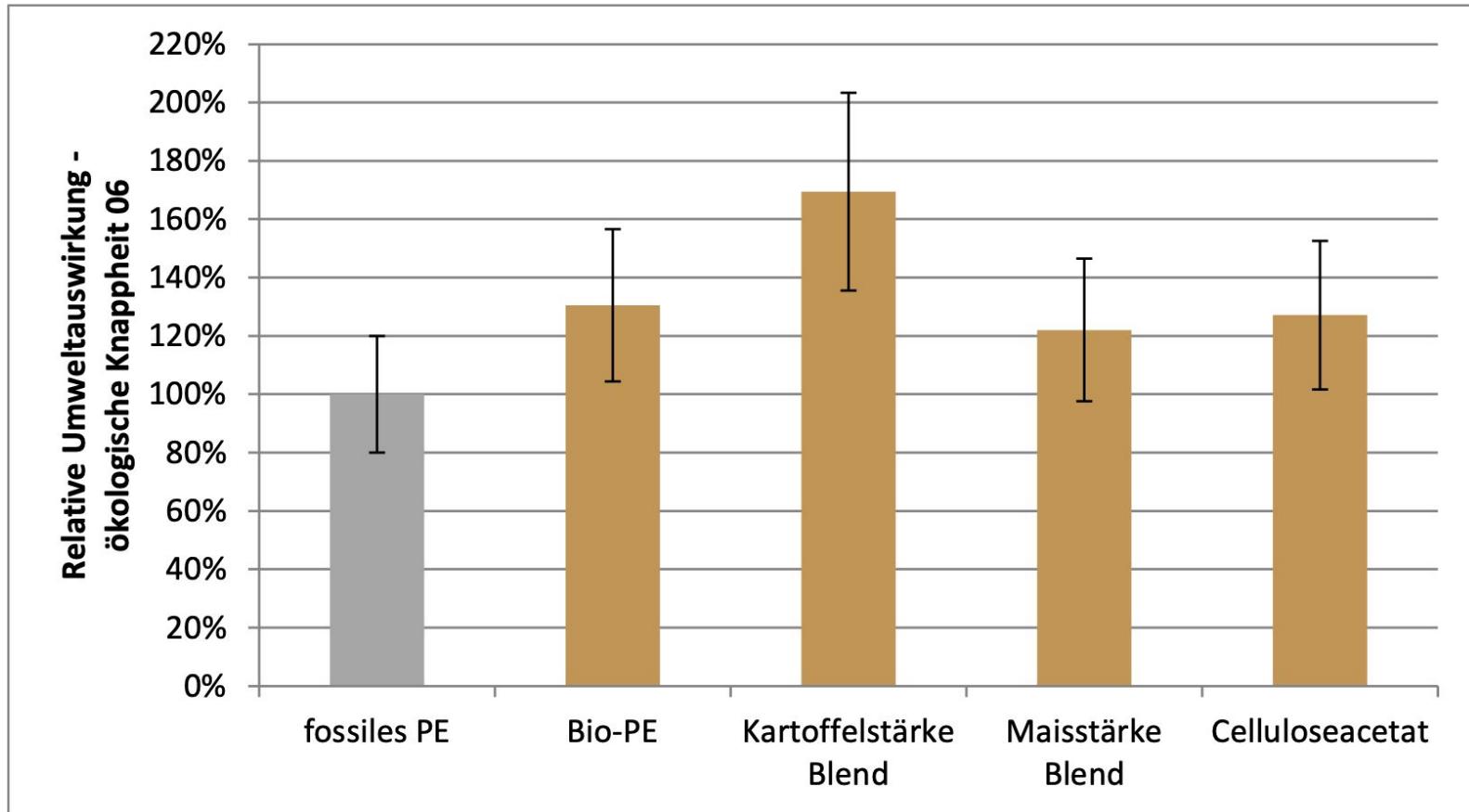
Gesamtumweltbelastung

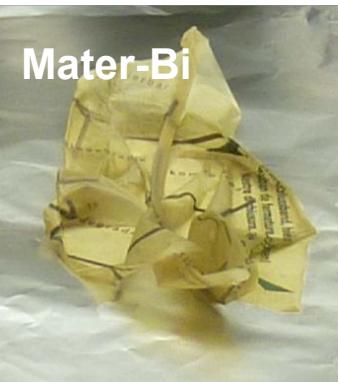


Woher kommt die Umweltbelastung?



weitere biobasierte Kunststoffe

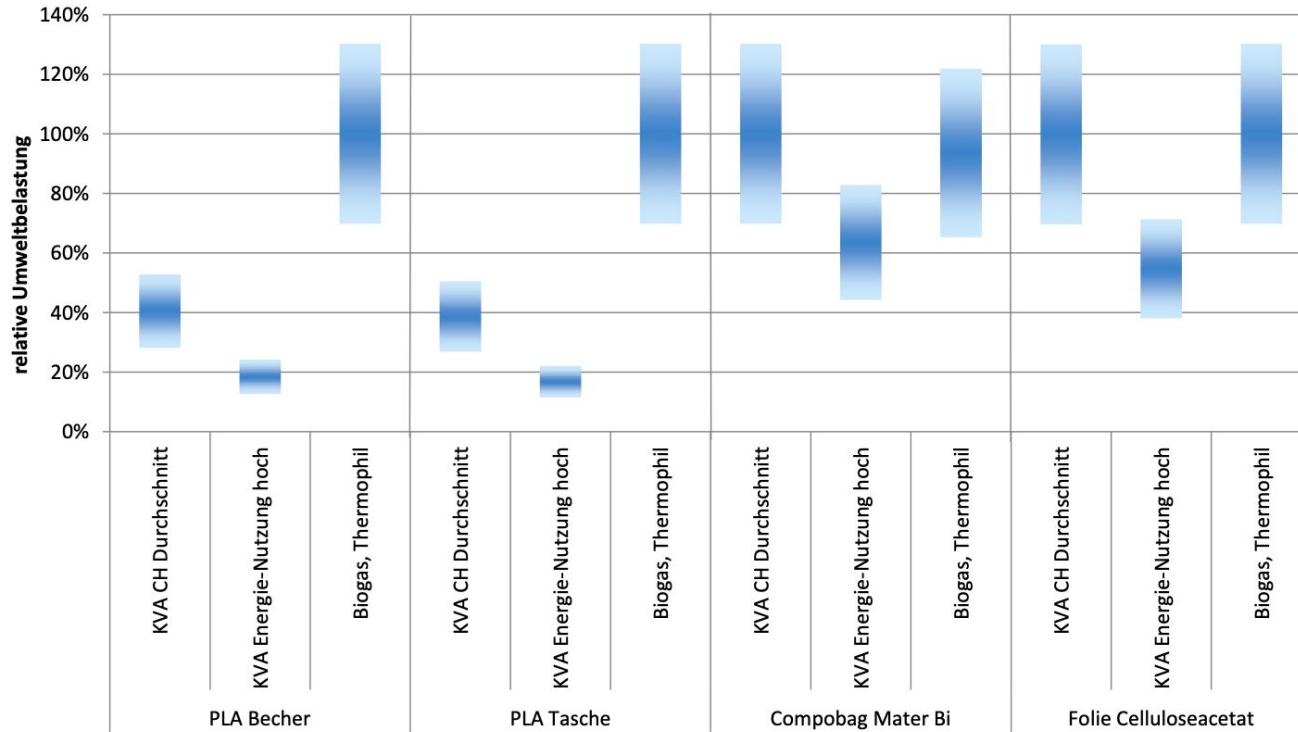




Biokunststoff-Stücke
nach 6-wöchiger
anaeroben Vergärung

BAW	Abbaugrad nach 14 Tagen (55°C)	Abbaugrad nach 21 Tagen (37°C)	NL Methanertrag / kg FM nach 14 Tagen (55°C)	NL Methanertrag / kg FM nach 21 Tagen (37°C)
Celluloseacetat Folie	82%	74%	356	292
Mater Bi Beutel	58%	6.0%	368	40
PLA Becher	4.4%	0.0%	26	0
PLA Tasche	3.2%	0.8%	22	5
Kartonbecher BAW beschichtet	76%	74%	360	372

**Relative Umweltbelastung
der Verbrennung (linker und mittlerer Balken) vs. Vergärung (rechter Balken)
von einzelnen BAW-Produkten**



Ökobilanz: Abbaubarkeit

Die betrachteten Biokunststoffe sind...

zwar:

- Meistens abbaubar (ausser Bio-PE, Bio-PET etc.)

aber:

- Die Abbaubarkeit ergibt praktisch keinen zusätzlichen Nutzen im Entsorgungspfad «Vergärung» oder «Kompostierung»
- Die Entsorgung in einer KVA ist zumindest gleich gut oder sogar besser als die Entsorgung in einer Biogasanlage oder die Kompostierung

Ökobilanz

Die betrachteten Biokunststoffe sind...

zwar:

- Aus nachwachsenden Ressourcen (biobasierte Kunststoffe)
- Meistens ein wenig klimafreundlicher als fossile Kunststoffe
- Sinnvoll wenn aus Abfall- oder Reststoffen produziert

aber:

- nicht klimaneutral,
- nie frei von fossilen Ressourcen,
- nicht ökologischer als fossile Kunststoffe, wenn sie aus landwirtschaftlich angebauten Rohstoffen bestehen

In Ökobilanzen (noch) nicht berücksichtigt:



- Ethische Aspekte wie Nahrungsmittelkonkurrenz
- Allfällige Qualitätsprobleme bei Durchmischung im Kunststoffrecycling
- Gewisse Umweltaspekte wie Bodenfruchtbarkeit oder Meeresverschmutzung durch Plastik
- Endlichkeit fossiler Ressourcen



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**

Mischa Zschokke

m.zschokke@carbotech.ch

T +41 44 444 20 15 www.carbotech.ch